

Un modèle multi-agents pour évaluer le rôle des réseaux dialogiques sur la dynamique de l'innovation en agriculture

Marie Houdart^{1,4}, Muriel Bonin¹, François Bousquet², Patrick Rio³

¹ Cirad, UMR Tetis, Station de Neufchâteau, Ste Marie, 97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe

² CIRAD Green TA 60/15 Campus de Baillarguet 34398 Montpellier Cedex 5 France

³ INRA, UMR LAMETA, 34060 Montpellier Cedex 2

⁴ Cemagref, UMR Metafort, 24 avenue des Landais, BP 50085, 63172 Aubière

marie.houdart@cemagref.fr

{muriel.bonin, bousquet}@cirad.fr

rio@ensam.inra.fr

Résumé. A partir de résultats d'enquêtes en exploitation agricole et de référentiels théoriques sur réseaux et innovation, l'innovation est formalisée dans le modèle multi-agents comme un processus d'apprentissage individuel et collectif. Le modèle permet de simuler la distribution des systèmes de culture et la vitesse de mise en œuvre des systèmes de culture innovants en prenant en compte leur dynamique naturelle, l'émergence et le processus de construction de l'innovation, les réseaux de dialogue entre exploitants. Deux paramètres sont testés : le nombre et la force des liens entre agents. Il apparaît que plus les liens sont nombreux, plus les échanges d'information sont nombreux, quelle que soit la force des liens. En conséquence, la quantité de liens introduit une grande différence dans la mise en œuvre de systèmes de culture innovants. Ceci pose de nouvelles questions à la formalisation des réseaux de dialogue de même qu'à la construction de dispositifs de terrain.

Mots clés : innovation, réseaux dialogiques, apprentissage, SMA, Guadeloupe

1. Introduction

Les fonctionnalités des SMA pour la gestion des ressources renouvelables en liaison avec les dynamiques sociales et spatiales sont nombreuses [1] [2]. Les SMA recouvrent notamment une utilité majeure quant à la mise en question des données d'enquêtes sociologiques (étape de formalisation, test des dynamiques, confrontation entre actions individuelles et collectives). C'est un outil pertinent pour confronter ces données d'enquête à la théorie [3].

En Guadeloupe, île française des Petites Antilles, une recherche a porté sur la capacité d'un groupe d'agriculteurs à mettre en œuvre des innovations agro-écologiques dans un contexte de crise environnementale et économique [4]. Une analyse basée sur l'étude des réseaux dialogiques entre agriculteurs a permis de mettre en valeur un lien entre structure du réseau et innovations stratégiques.

En conséquence, l'objet du modèle présenté dans ce papier est d'offrir une représentation multi-agents de la théorie de la construction de l'innovation pour évaluer la façon dont les réseaux de dialogue influent sur la dynamique de l'innovation.

L'action des réseaux de dialogue sur la dynamique de l'innovation est peu prise en compte dans les SMA : c'est l'approche que nous retenons et qui fait l'objet d'une première section. Dans la seconde section, nous présentons les bases conceptuelles du modèle, entre traduction d'une théorie sociologique et traduction des résultats de données d'enquête. La troisième section est consacrée à la description de la structure du modèle et aux résultats de la simulation.

2. Réseaux sociaux et innovation dans les SMA : l'intégration des réseaux de dialogue

D'un point de vue théorique, les courants qui analysent la relation entre réseaux sociaux et innovation s'inspirent fréquemment de l'évolutionnisme [5]. Leur prolongement a orienté des approches diffusionnistes de l'innovation [6] dans lesquelles la progression de l'innovation, en agriculture notamment, est perçue comme une épidémie : la pénétration de l'innovation se fait selon une courbe en S sur laquelle on distingue les innovants, les adoptants précoces, la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires [7]. D'une façon générale, la prise en compte de cette théorie diffusionniste revient à postuler que le rôle des agents est en partie stable du fait de la stabilité même de la structure du réseau. Cela amène à considérer que les données qui circulent ont intrinsèquement du sens et à peu près le même pour tout le monde.

Aussi plusieurs sociologues vont-ils à l'encontre de cette théorie "diffusionniste" [8] [9]. Par le développement de la théorie des réseaux d'acteurs, ils insistent sur la nécessité de prendre en compte le processus de construction de l'innovation. Cette théorie repose sur l'idée que l'agriculteur est un être social : il participe à des collectifs d'échanges techniques, des réseaux, des organisations ; il est influencé et influence ; les décisions qu'il prend dépendent pour partie des groupes sociaux auxquels il participe [10] [11] [12]. L'émergence de conceptions et de pratiques hybrides, résultant de l'interaction dialogique que les agriculteurs entretiennent avec d'autres, est prise en compte. La forme que peut prendre l'espace social a alors des effets sur la dynamique de changement pour la mise en œuvre des pratiques agricoles [13].

Les SMA constituent un outil pertinent pour simuler les effets des réseaux de dialogue sur la dynamique de changement pour la mise en œuvre de pratiques innovantes. Le principal apport des SMA réside en effet dans la possibilité de prendre en compte à la fois les dynamiques spatiales et les dynamiques sociales. L'approche générale consiste à modéliser des agents qui perçoivent un environnement et agissent sur celui-ci après avoir délibéré [14] [15] [16] [17].

Utilisant les principes de l'auto-organisation, de la confrontation entre analyse de comportements individuels et collectifs et celui de phénomènes émergents propres aux SMA, plusieurs auteurs modélisent la dynamique de l'innovation selon la théorie diffusionniste [18] [19] [20] [21]. En soi, les réseaux de dialogues ne sont pas pris en compte pour aller dans le sens de la théorie de la construction de l'innovation, malgré l'intégration de la notion de réseaux d'acteurs. Plusieurs modèles développent cependant la question de l'apprentissage dans la mise en œuvre de l'innovation, se rapprochant ainsi des concepts fondamentaux de la théorie de la construction de l'innovation [22] [23] [24]. D'autres notions sont afférentes alors à celle d'innovation dans ces modèles : celles d'apprentissage, par expériences individuelle et collective, et de confiance [25] [26].

3. Principes théoriques du modèle élaboré : traduction d'une théorie et traduction de données de terrain

Construit de façon à évaluer le rôle des réseaux de dialogue sur la dynamique de l'innovation, le modèle repose sur trois principes : une définition de l'innovation résultant des données d'enquête (auprès de 18 exploitants agricoles d'une petite zone rurale du Sud de la Guadeloupe) ; une conceptualisation de la théorie de la construction de l'innovation ; une conceptualisation des réseaux de dialogue en fonction des données d'enquête (Tab. 1).

Tableau 1. Conceptualisation des principes théoriques et des données d'enquête pour la modélisation.

Principes théoriques retenus	Analyse empirique (données d'enquête)	Conceptualisation pour la modélisation
Innovation	L'innovation spontanée apparaît face à une crise économique et prend la forme d'un changement d'orientation productive de l'exploitation	Innovation = changement de système de culture plus performant (marge brute)
Construction de l'innovation (vs diffusion)		Notion de Discours sur l'Innovation (ID)
Principe de l'innovation endogène, spontanée		Mise en œuvre de l'innovation par un agent pionnier (IDemergent)
Discours sur l'Innovation = objet hybride, muable, apprentissage collectif		Transmission de l'ID d'un agent à l'autre (IDtransmis)
Regard sur expérience individuelle, apprentissage individuel		Interprétation de l'ID reçu par un agent pionnier ou non (IDtraduit)
Réseaux de dialogue	Forme des réseaux Modes de communication différents : fréquence des échanges et confiance/influence	Nombre de liens Force des liens

3.1. L'innovation : un changement de système de culture

En agriculture, l'innovation peut être considérée comme un changement technique ou stratégique, provoqué de manière spontanée (endogène) ou impulsée par des leviers d'action (exogène).

En Guadeloupe, les résultats du travail mené sur les réseaux de dialogue entre exploitants agricoles d'une même zone ont montré que les changements opérés de façon spontanée par les exploitants agricoles avaient pour origine le contexte de crise économique touchant notamment le secteur de la banane. La diversité des solutions adoptées en termes de systèmes de production (diversification, renforcement de la production bananière, agri-tourisme) de même que d'organisation spatiale des activités agricoles (échanges de parcelles), nous a amené à considérer l'innovation comme un changement d'orientation productive de l'exploitation agricole.

Dans le modèle, la mise en œuvre d'une innovation correspond alors à la mise en œuvre d'un système de culture dit innovant, plus performant. Cette performance est évaluée à l'échelle de l'exploitation par le calcul, à chaque pas de temps, de la marge brute. Cette dernière dépend uniquement, dans la version du modèle présentée ici, de l'âge du système de culture.

3.2. Le Discours sur l'Innovation (ID) : théorie de la construction de l'innovation

Ces changements de systèmes de culture se font à la suite d'échanges entre les agents du modèle, les exploitants. En reprenant les travaux de [8] et [9], nous posons dans notre modèle :

- qu'en même temps qu'une innovation spontanée est proposée, un Discours sur cette Innovation (ID) émerge (émergence),
- que cet ID vise à construire la position sociale de l'innovation, en termes de qualification-déqualification-requalification, ce qui implique une forme d'apprentissage collectif¹ (transmission),
- que cet ID se transforme au fur et à mesure que les agents non-pionniers adoptent l'Innovation, ce qui implique une forme d'apprentissage individuel (traduction).

On voit ainsi ce que notre analyse met en jeu. La mise en œuvre de l'innovation n'étant pas séparable du discours qui se fait à son propos (ID), l'importance relative des paramètres qui contrôlent cette construction du discours constitue l'enjeu majeur de notre interrogation.

3.3. Structure du réseau : une déconstruction-reconstruction des données d'enquête

Deux paramètres sont naturellement candidats à l'évaluation du contrôle du discours [27] :

- un paramètre traduisant la sociabilité de chaque agent,
- un paramètre traduisant la familiarité que les agents ont entre eux.

L'analyse des données recueillies en Guadeloupe a permis d'identifier plusieurs groupes de communication : des groupes de communauté d'orientation productive, au sein desquels les échanges sont fréquents et les stratégies similaires ; des groupes animés par des convictions politiques mais n'impliquant aucune communication sur les stratégies et les systèmes de culture en particulier mais au sein desquels chacun sait ce que l'autre fait ; des groupes présentant des stratégies similaires par le jeu d'influence d'un ou deux agents ; enfin, d'une façon générale, l'information passe beaucoup par l'observation des changements visibles opérés sur les parcelles des uns et des autres en raison de la proximité des exploitations, de leur situation sur un même axe de communication et de l'ouverture du paysage. Au regard de ces données d'enquête, les paramètres de contrôle du discours peuvent se mesurer en termes de nombre de liens d'une part, de force des liens d'autre part.

Un gradient de quantité de liens est représenté par trois types de groupes (Fig. 1) :

- un groupe unique au sein duquel tous les agents sont reliés aux autres.
- groupes reliés : tous les agents ne sont pas reliés les uns aux autres mais la connectivité est de 4. Chaque agent connaît 4 autres agents, qui eux-mêmes en connaissent 3 autres. Chaque groupe est relié aux autres par un agent.
- groupes non reliés : groupes dispersés, entre lesquels n'existe aucun lien mais au sein desquels tous les agents sont reliés les uns aux autres.

¹ On notera qu'un réseau non verbal (voir ce que le voisin fait sur son exploitation) peut parfaitement participer de l'ID. Dans le cas de changements stratégiques, la visibilité suffit à construire l'ID alors que la mise en œuvre d'une innovation technique nécessiterait des apprentissages effectifs ou une délégation de compétences (mimétisme ou recours aux techniciens).

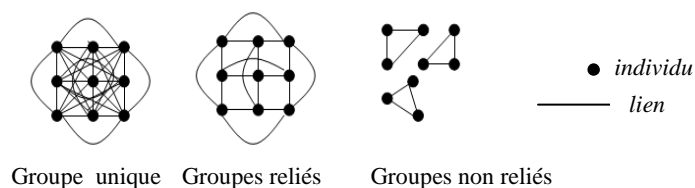


Fig. 1. Trois types de groupes traduisant un gradient de quantité de liens dans le modèle.

Les liens peuvent avoir différentes forces, en fonction de la confiance que les agents accordent aux propos des autres d'une part, de la fréquence de ces échanges d'autre part.

Dans ce modèle, nous retenons trois formes de communication :

- communication essentiellement basée sur l'observation, en raison de la proximité spatiale des parcelles, du passage répété d'un exploitant devant les parcelles d'un autre : la fréquence des échanges est faible, voire nulle. La force du lien est considérée comme faible.
- communication basée sur des échanges réguliers mais sur une confiance faible dans la mesure où les échanges ne portent pas directement sur la question de l'innovation. La force du lien est alors considérée comme moyenne.
- communication basée sur des échanges quotidiens, avec une confiance forte. La force du lien est considérée comme forte.

3.4. Hypothèse

En prenant en compte les deux paramètres retenus de la structure des réseaux que sont le nombre de liens et la force des liens, un point de vue pragmatique sur la question nous amène à émettre l'hypothèse que :

- pour un même nombre de liens, le nombre d'ID construits et transmis augmente avec la force des liens;
- si la force des liens est similaire pour toutes les relations existantes, le nombre d'ID construits et transmis augmente avec la quantité de liens.

Au final, en nous basant sur la théorie des réseaux, nous pouvons émettre l'hypothèse que plus il y a de liens entre individus et que ces liens sont forts, plus l'innovation (adaptée aux spécificités individuelles) est fréquente.

4. Le modèle

4.1. Objectifs

L'objectif du modèle est de simuler la distribution des systèmes de culture sur un territoire et la vitesse de mise en œuvre des systèmes de culture innovants en prenant en compte :

- la dynamique naturelle des systèmes de culture (deux types de Système de Culture : SdeCa ou SdeCb) : vieillissement et diminution de marge brute associée,
- l'émergence et le processus de construction de l'innovation (dynamique de l'ID)
- les réseaux de dialogue entre exploitants, à travers deux paramètres que sont le nombre et la force des liens.

Selon les principes théoriques implémentés dans le modèle, la dynamique de l'ID qui détermine en partie celle des systèmes de culture, est liée aux réseaux dialogiques par le nombre et la force des liens entre agents.

L'objectif assigné aux simulations est donc de mesurer comment ces deux paramètres caractéristiques des réseaux sociaux affectent *in fine* la mise en œuvre de systèmes de culture innovants, en tenant compte des conditions dans lesquelles le discours sur l'innovation transmet une innovation (émergence de l'ID, transmission, traduction).

4.2. Structure

La formalisation des bases conceptuelles pour l'intégration dans le modèle peut correspondre à la création d'agents, d'attributs ou encore de méthodes d'évolution de l'agent (Tab. 2).

Tableau 2. Formalisation des principes théoriques et des données d'enquête pour la modélisation.

Conceptualisation pour la modélisation	Formalisation dans le modèle
Innovation = changement de système de culture	Attribut de l'agent exploitant SdeCa et SdeCaInnovant SdeCb et SdeCbInnovant
Notion de Discours autour de l'Innovation (ID)	ID = agent
Emergence de l'ID	IDemergent = attribut de l'agent ID
ID transmis	IDtransmis = attribut de l'agent ID
ID traduit	IDtraduit = attribut de l'agent ID
Nombre de liens	Définition donnée dans les méthodes d'initialisation de l'agent exploitant
Force des liens	Définition donnée par la probabilité d'envoi des ID dans une des méthodes de l'agent exploitant

Le modèle repose sur une structure simple et générique (Fig. 2). Il est composé :

- d'entités spatiales élémentaires, les cellules, et d'entités agrégées, les exploitations, chacune appartenant à un exploitant.
- d'agents de type localisé communiquant : les exploitants.
- d'objets localisés créés au cours de la simulation : les ID.
- de messages qui permettent la visualisation de la communication entre agents : les MessageID.

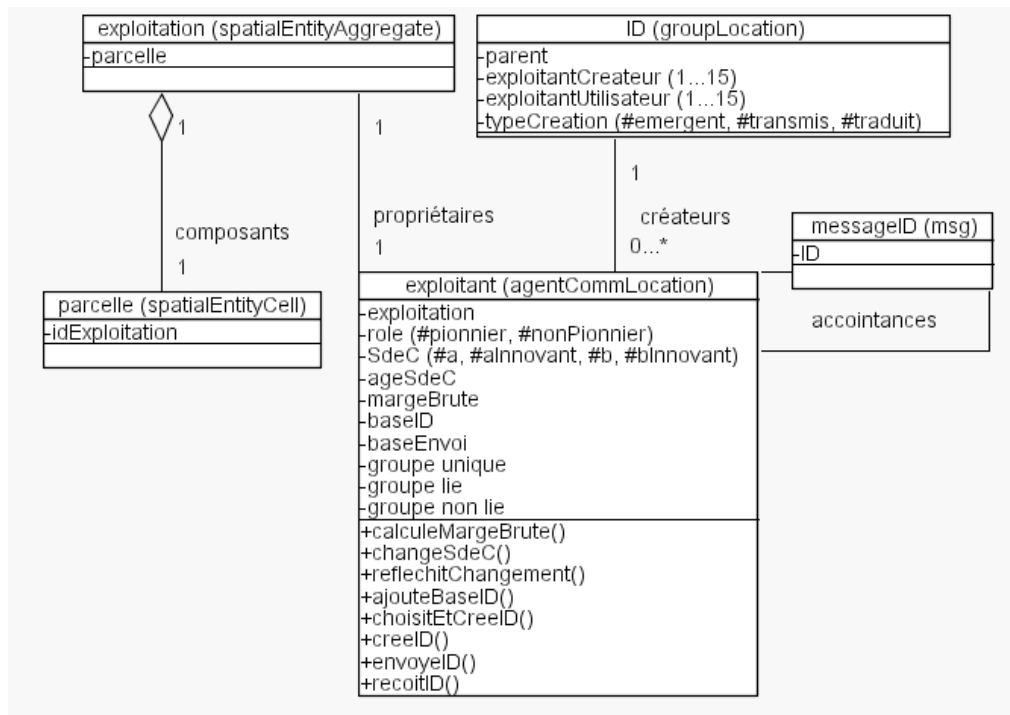


Fig. 2. Diagramme de classe du modèle.

Les agents "exploitant" sont au nombre de 15. Chacun possède une cellule de la grille spatiale, correspondant à une exploitation (Fig. 3).

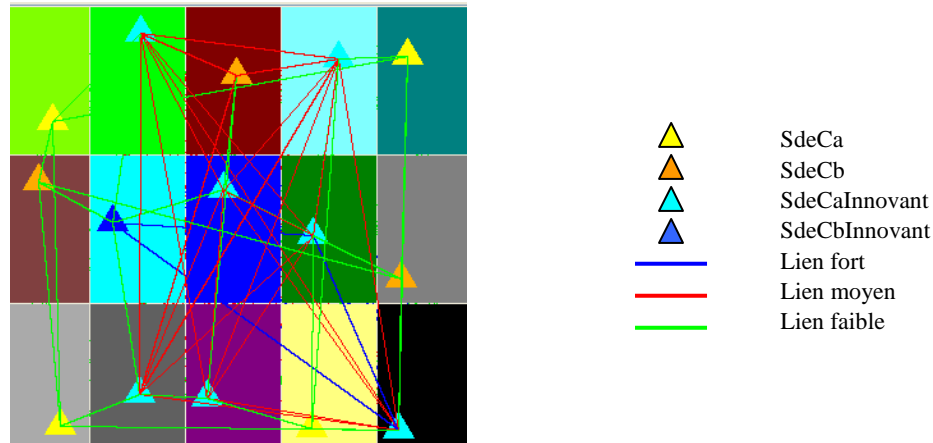


Fig. 3. Illustration de la grille spatiale au 8ème pas de temps d'une simulation incluant les différentes forces de liens.

Dans la mesure où une parcelle équivaut à une exploitation gérée par un exploitant, toutes les règles concernant le système de culture, de même que la marge brute, sont fixées au niveau de l'exploitant.

Deux systèmes de culture (SdeC) sont intégrés (SdeCa et SdeCb), de façon à ce que chacun ait une marge brute différente pour un âge similaire. Chaque système de culture peut évoluer vers un système de culture innovant : SdeCa devient SdeCaInnovant ; SdeCb devient SdeCbInnovant. Pour un âge similaire, la marge brute de ces systèmes innovants est plus élevée que celle du système initial.

Les SdeC sont répartis de façon aléatoire : chaque exploitant a 50% de probabilité de choisir SdeCa ou SdeCb.

Les SdeC ont un âge calculé aléatoirement à l'initialisation, compris entre 0 et 4.

L'exploitant a 1 chance sur 5 d'être pionnier.

Les liens entre exploitants sont définis au niveau des méthodes d'initialisation de l'exploitant. Ce sont ces liens qui déterminent la présence de groupe unique, groupes reliés ou groupes non reliés dans les différents scénarii.

La force des liens est traduite dans le modèle par une probabilité d'envoi des ID définie au niveau de l'exploitant : y sont fixées les probabilités d'envoi des ID. Chaque agent envoie la liste de ses ID à l'ensemble des membres de son réseau selon une probabilité d'occurrence qui peut varier. Plus les liens sont forts, plus la probabilité d'envoi des ID est élevée. Trois cas sont intégrés dans le modèle : le lien fort correspond à une probabilité d'envoi de 1, le lien moyen à une probabilité de 0.5, le lien faible à une probabilité de 0.2.

4.3. Déroulement de la simulation et démarche d'analyse

La simulation se déroule de la façon suivante (Fig. 4) : à chaque pas de temps, les SdeC vieillissent, la marge brute est ainsi calculée. Si elle passe en dessous d'un certain seuil, l'exploitant envisage de changer de stratégie sur l'ensemble de son exploitation. Si l'exploitant est pionnier, il change de système de culture, sinon, il observe sa boîte de ID. Si cette boîte est vide, il ne se passe rien ; si elle contient des ID, l'exploitant retient l'un d'eux au hasard, change de système de culture et la mise en œuvre de ce système de culture innovant implique la création d'un nouvel ID, de type IDtraduit. Le changement de système de culture provoque l'envoi de l'ID créé.

Deux paramètres clefs sont modifiés au cours des simulations de façon à évaluer leur importance respective et, au final, discuter autour des configurations "idéales" à donner aux réseaux de dialogue :

- le nombre de liens : dans un premier scénario, tous les agents appartiennent à un groupe unique ; dans un second scénario, les agents sont reliés par des groupes reliés ; dans le troisième scénario, 5 groupes indépendants relient chacun 3 agents.
- la force des liens est définie par la probabilité avec laquelle les ID sont envoyés. Trois scénarii sont envisagés : probabilité de 1, de 0.5 et de 0.2.

En croisant ces variations de paramètres, 9 scénarii sont testés.

Chaque simulation de scénario est lancée 30 fois sur 50 pas de temps. La moyenne des résultats de ces 30 itérations est enregistrée. Les sondes analysées sont :

- la quantité d'IDtransmis, d'IDemergent et d'IDtraduit
- le pourcentage de cellules en SdeCa, en SdeCaInnovant, en SdeCb et en SdeCbInnovant.

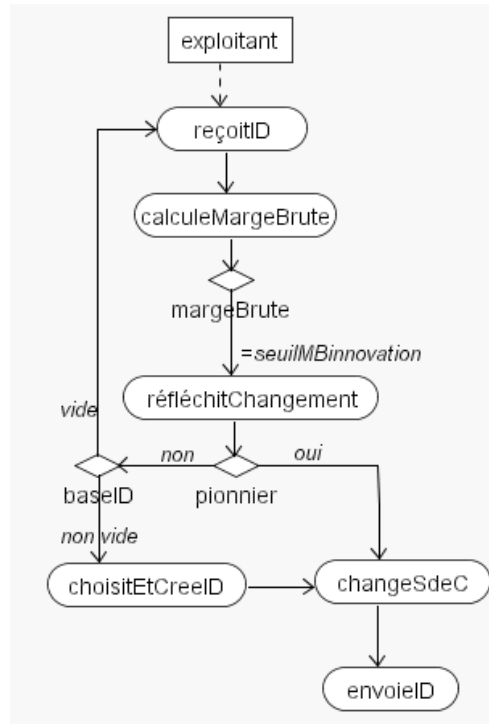
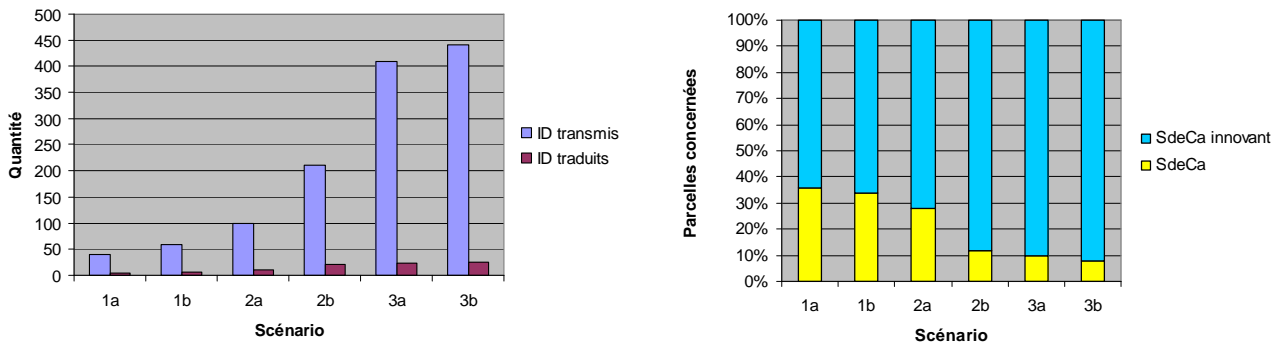


Fig. 4. Diagramme d'activité.

4.4. Résultats

D'une manière générale, plus les liens sont nombreux, plus la quantité d'ID est importante et ce quelle que soit la force des liens (Fig. 5).



Scénario 1 : groupe unique / Scénario 2 : groupes reliés / Scénario 3 : groupes non reliés
 Variante a : liens faibles / Variante b : liens forts

Fig. 5. Synthèse des résultats en fin de simulations.

Concernant les IDemergents, leur émission dépendant en début de simulation de la part des agents "pionniers" par rapport aux agents non pionniers, l'évolution varie en fonction de ces paramètres statistiques.

Concernant les ID transmis, la quantité de liens joue un rôle majeur (Fig. 6). Si les quantités d'ID changent selon la force des liens, le rapport entre les différents cas de groupe est globalement toujours le même. Le nombre de liens introduit toujours une différence importante.

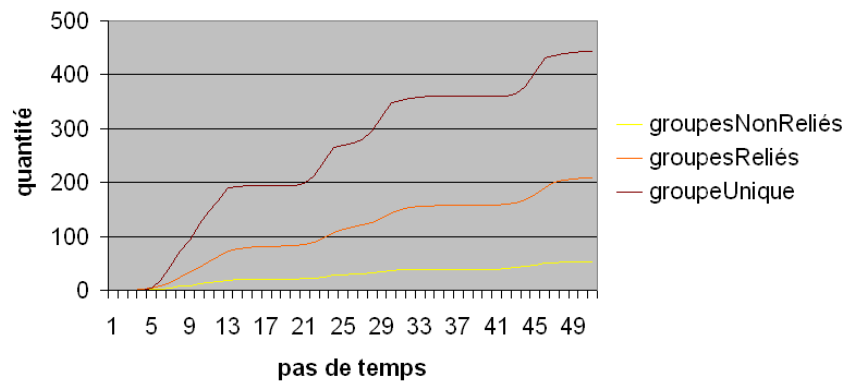


Fig. 6. Evolution comparée du nombre d'ID transmis selon la structure du réseau, dans le cas de liens forts.

Pour les ID provenant de l'expérience individuelle chez les non pionniers, le nombre de liens joue un rôle important, quelle que soit la force des liens (Fig. 7). Dans les trois cas de force de liens possible, il y a toujours un grand écart de production de ces ID selon le nombre de liens. En liaison avec une plus grande production d'ID transmis, plus il y a de liens entre exploitants, plus il y a d'ID provenant de l'expérience individuelle chez les non pionniers.

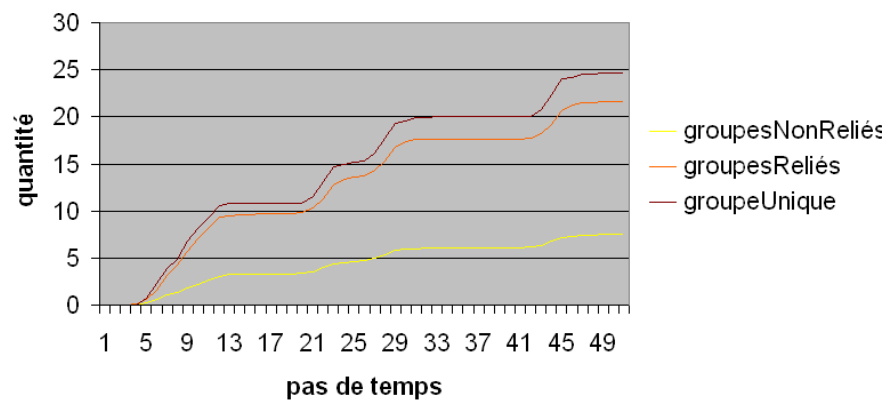


Fig. 7. Evolution comparée du nombre d'ID traduits selon la structure du réseau, dans le cas de liens forts.

Concernant la mise en œuvre de systèmes de culture innovants, il apparaît que dans le cas où les liens sont forts, la quantité de liens introduit une grande différence entre une structure à groupe unique et une structure en groupes reliés d'une part et une structure basée sur plusieurs groupes non reliés d'autre part (Fig.8). Dans le cas de liens faibles la quantité de liens introduit effectivement une différence très forte dans la dynamique des systèmes de culture.

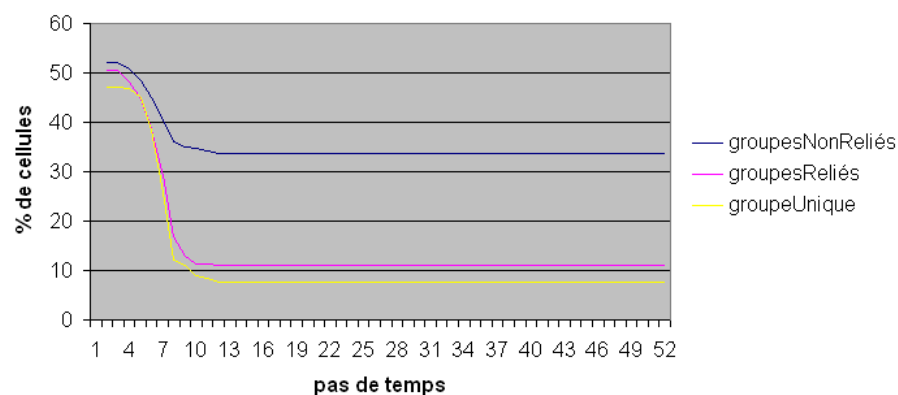


Fig. 8. Evolution de la distribution du SdeCa selon la structure du réseau (dans le cas de liens forts).

Quant à la force des liens, elle semble introduire, plus qu'une différence de quantités d'ID, une différence dans la vitesse de production de ces ID. Plus les liens sont forts, plus les ID transmis évoluent par palier marqué,

alors que les liens faibles adoucissent les courbes (Fig. 9). En effet, les liens forts augmentent la vitesse de diffusion des ID : dans le cas de liens très forts, tout est envoyé d'un seul coup ce qui génère le palier, la rupture dans la dynamique. Plus la probabilité d'envoi des ID est faible, plus la courbe est lissée.

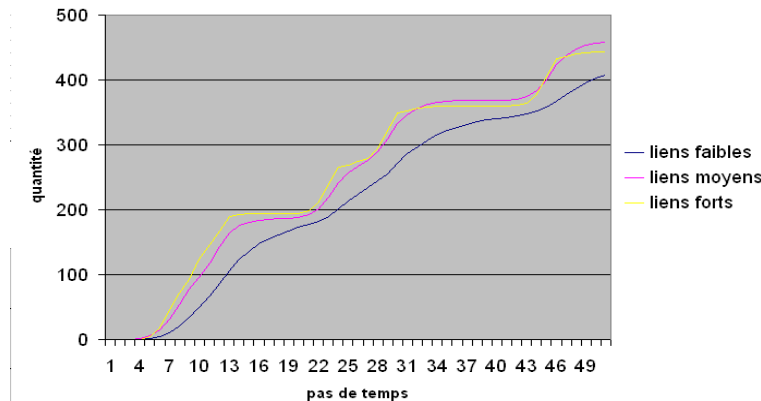


Fig. 9. Evolution comparée du nombre d'ID transmis selon la force des liens (dans le cas d'un groupe unique).

La force des liens introduit peu de différence dans la mise en œuvre des systèmes de culture innovants (Fig. 10). Dans le cas où les liens entre agents sont nombreux par exemple (scenario du groupe unique), la force des liens joue peu dans la dynamique des SdeC : que la probabilité soit de 0.2 ou de 1, les courbes d'évolution des différents SdeC sont très proches.

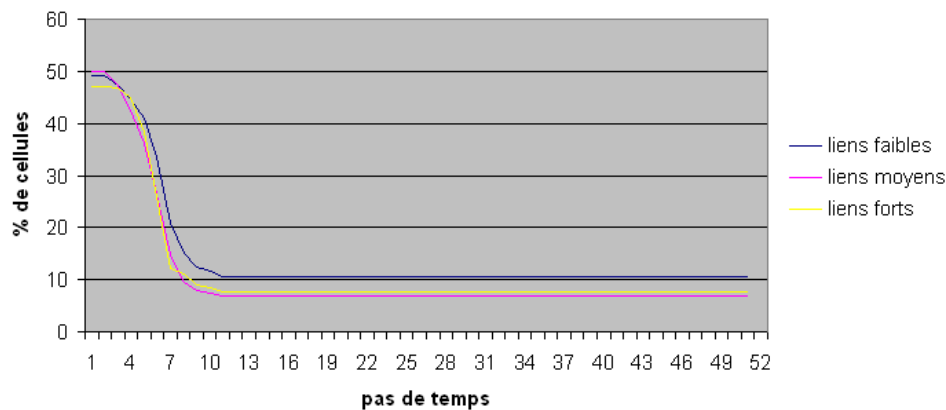


Fig. 10. Evolution de la distribution de SdeCa selon la force des liens (dans le cas d'un groupe unique).

5. Discussion/conclusion

A l'issue des simulations, il apparaît que le nombre de liens est plus important que la force des liens, à la fois pour des échanges autour des stratégies plus nombreux que pour la mise en œuvre plus fréquente de systèmes de culture innovants. Le modèle élaboré selon la théorie de la construction de l'innovation laisse penser que la force des liens ne joue pas dans la vitesse de diffusion ni dans la quantité d'innovation produite. Seul le nombre de liens revêt une importance majeure. Cela soulève de nombreuses questions théoriques. La simulation de la dynamique de l'ID permet d'analyser les processus qui sous-tendent la dynamique de l'innovation. Cependant, constater à quel point la force des liens semble être minimisée dans l'émergence et la transmission de l'ID et, par suite, dans la fréquence de mise en œuvre de l'innovation, amène à repenser la conceptualisation de cette théorie de construction de l'innovation, soit en revoyant les principes mêmes de formalisation, soit en confrontant avec d'autres scénarii, incluant notamment la dynamique même des réseaux.

La traduction de la théorie retenue mérite d'être approfondie. Selon la théorie des réseaux d'acteurs, tout réseau est toujours changeant : par exemple avec l'intégration d'un nouvel agent qui provoque de nouvelles alliances, ou la disparition d'un agent. C'est donc l'une des améliorations à donner à ce prototype : intégrer la dynamique des réseaux [28]. Selon l'approche structuraliste des réseaux de dialogues en liaison avec les

processus de construction de l'innovation, la mise en œuvre d'une innovation par un acteur provoque un changement dans la structure du réseau. Dans le modèle, il faut intégrer la modification des réseaux de dialogue et/ou l'émergence de nouveaux réseaux suite à la mise en œuvre d'une innovation.

Concernant les questions de l'apprentissage, d'autres aspects méritent d'être améliorés. Pour ce qui est de la notion d'apprentissage individuel, on part du principe dans ce modèle que l'information est acquise avant toute prise de décision. Il n'y a pas de rôle actif imputé à l'agent pour aller chercher l'information lorsque se pose le problème. Quant à la notion d'apprentissage collectif, la notion de prise de risque n'est pas prise en compte (erreurs durant la phase d'apprentissage, risque que l'adoption ne soit pas intéressante si les conditions économiques/réglementaires changent). La possibilité d'observation de l'efficacité de l'innovation n'est pas intégrée.

Les résultats des simulations amènent également à réfléchir aux solutions éventuellement envisageables pour développer les capacités du groupe d'agriculteurs enquêtés en Guadeloupe à faire émerger des innovations. Ainsi, dans un cadre où les innovations sont "visibles" (ce qui est le cas d'un changement de système de culture) la mise en relations de tous les agents par observation serait aussi efficace que la constitution d'un groupe de travail fédérant l'ensemble des agriculteurs d'une zone pour la mise en œuvre généralisée de systèmes de culture innovants. Cela amène à réfléchir par exemple à la pertinence de la création de groupes de travail au regard des difficultés de mise en œuvre que cela peut susciter.

Outre ces aspects sur d'éventuels leviers d'actions, les résultats sur l'efficacité similaire d'une observation et d'un travail en commun sur des questions d'innovations stratégiques, renforce l'intérêt et l'importance d'une approche territoriale dans l'analyse des innovations agro-écologiques. Plus que l'élaboration d'hypothèses qu'il conviendrait de vérifier, le modèle aide alors à engager des démarches pluri-disciplinaires spécifiques : à l'analyse des réseaux dialogiques doit s'associer l'analyse géographique.

Enfin, le modèle peut être interfacé avec d'autres modèles, tels que des modèles biophysiques sur l'impact environnemental de certains systèmes de culture ou leur performance économique. Les spécificités spatiales des SMA constituent en ce sens un atout majeur. Pour cela, des règles de décision des exploitants propres à la zone doivent être développées et implémentées, règles à la fois économiques mais également spatiales. En ce sens, ce modèle d'aide à la construction de dispositif de terrain peut devenir un outil d'aide à la décision par la mise en regard de modèles biophysiques.

Références

1. Bousquet, F. & Le Page, C. (2004). Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological Modelling* 176(3-4): 313-332.
2. Gilbert, N. (2005). Agent-based social simulation: dealing with complexity. from <http://www.complexityscience.org/NoE/ABSS-dealing%20with%20complexity-1-1.pdf>
3. Janssen, M. A. & Ostrom, E. (2006). Empirically based, Agent-based models. *Ecology and Society* 11(2): 37.
4. Bonin, M., Cattani, P., Dorel, M., Malézieux, E. (2006). L'émergence d'innovations techniques face aux risques environnementaux. Le cas de la culture bananière en Guadeloupe : entre solutions explorées par la recherche et évolution des pratiques. *Agronomes et Innovations*. C. J. (ed.). 123-135.
5. Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development*. Cambridge: Harvard University Press.
6. Hägerstrand, T. (1952). The propagation of innovations waves. *Lund Studies in Geography* série B: 4.
7. Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations*. New York, Macmillan Publishing Co.
8. Callon, M., Courtial, J. P., Turner, W.A. (1983). From translations to problematic networks: an introduction to co-word analysis. *Social Science Information* 22(2): 191-235.
9. Latour, B. (1989). *La science en action*. Paris, La Découverte
10. Bourdieu, P. (1980). *Le sens pratique*. Paris, Ed. de Minuit.
11. Darré, J.P., Guen (le), R., Lemery, R., (1989). Changement technique et structure professionnelle locale en agriculture. *Economie rurale*, n°192-193, pp.115-122.
12. Crozier, M. & Friedberg, E. (1977). *L'acteur et le système : les contraintes de l'action collective*. Paris, Seuil.
13. Compagnone, C. (2004). Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne. *Recherches sociologiques* 3: 103-21.
14. Bousquet, F., Barreteau, O., Le Page, C., Mullon, C., Weber, J. (1999). An environmental modelling approach: the use of multi-agent simulations. *Advances in environmental modelling*. Elsevier: 113-122.
15. Benoît, M., Chicoisne, G., Deffontaines, J.-P., Hervé, D., Lardon, S., Le Ber, F., Mullon, C., Papy, F., Souchère, V., Thinon, P., Tichit, M., Treuil, J.-P. (1999). Coordonner des choix de cultures sous contraintes environnementales : des jeux de rôles aux modèles multi-agents. *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires*, Clermont-Ferrand.
16. Bonnefoy, J.-L., Bousquet, F., Rouchier, J. (2001). Modélisation d'une interaction individus, espace et société par les systèmes multi-agents : pâture en forêt virtuelle. *L'espace géographique* 1: 13-25.
17. Barreteau, O., Cernesson, F., Garin, P., Dumontier, A., Abrami, G. (2003). Agent-based facilitation of water allocation: case study in the Drome river valley. *Group Decision and Negotiation* 12: 441-461.

18. Steyer, A. & Zimmermann, J.-B. (2004). Influence sociale et diffusion de l'innovation. *Mathematics and Social Sciences* 168(4): 43-57.
19. Daudé, E. (2004). Apports de la simulation multi-agents à l'étude des processus de diffusion. *Cybergeographie : Revue européenne de géographie* n° 255: 15p.
20. Valente, T. W. (1996). Social network thresholds in the diffusion of innovations. *Social Networks* 18(1): 69-89.
21. Amblard, F. & Ferrand, N. (1999). Modélisation multi-agents de l'évolution de réseaux sociaux. *Modèles et Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Environnement et des Territoires*. Cemagref. Clermont-Ferrand: 153-168.
22. Barreteau, O. & Bousquet, F. (1999). Jeux de rôle et validation de systèmes multi-agents. *Actes des 7ème journées francophones d'Intelligence Artificielle et systèmes multi-agents (JFIADSMA'99)*, Paris.
23. Rouchier, J., F. Bousquet, Requier-Desjardins, M., Antona, M. (2001). A multi-agent model for describing transhumance in North Cameroon: Comparison of different rationality to develop a routine. *Journal of Economic Dynamics and Control* 25: 527-559.
24. Abrami, G. (2004). Niveaux d'organisation dans la modélisation multi-agents pour la gestion des ressources renouvelables. Application à la mise en œuvre de gestion collective de l'eau d'irrigation dans la basse-vallée de la Drôme. Cemagref/ENGREF. Montpellier: 305 p. + annexes.
25. Dupouët, O., M. Yildizoglu, Cohendet, P. (2003). Morphogenèse de communautés de pratique. *Revue d'économie industrielle* n°103 2eme et 3eme trimestre 2003: 91-110
26. Nunes, L. and E. Oliveira (2004). Learning from multiple sources. *AAMAS'04*, New York.
27. Darré, J.P. (1986). Le rôle des réseaux de dialogue entre agriculteurs. Comment les façons de faire et de penser se transforment : l'étude des réseaux de dialogue. *Agriscopes* 7: 143-151.
28. Bala, V. & Goyal, G. (2000). A noncooperative model of network formation. *Econometrica* 68(5): 1181-1229.